

# Analog Engineer's Circuit

## 非反転型マイクプリアンプ回路

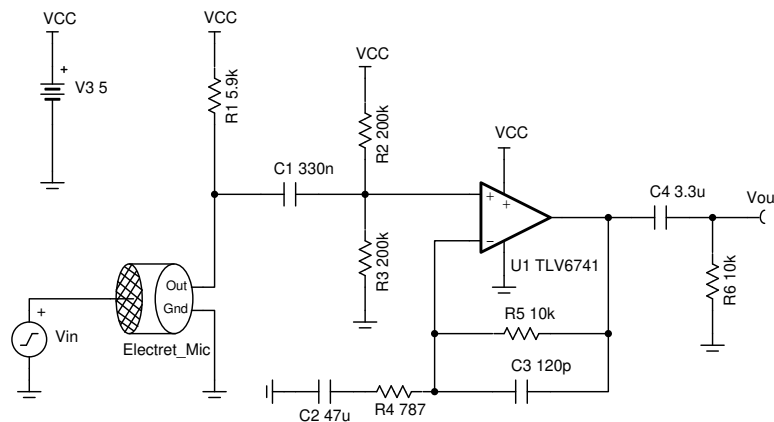


### 設計目標

入力音圧レベル (最大値)	出力電圧 (最大値)	電源		周波数応答偏差	
		V <sub>cc</sub>	V <sub>ee</sub>	20Hz	20kHz
100dB SPL (2Pa)	1.228V <sub>rms</sub>	5V	0V	-0.5 dB	-0.1 dB

### 設計の説明

この回路は、非反転アンプ回路構成を使用して、マイクロフォンの出力信号を増幅します。この回路は、音声周波数範囲の全体にわたって振幅の平坦性が非常に優れており、周波数応答偏差はわずかです。この回路は 5V 単一電源で動作するように設計されています。



### デザインノート

1. オペアンプの線形出力動作範囲内で動作させます。この範囲は通常、A<sub>OL</sub> テスト条件に規定されています。
2. Low-K コンデンサ (タンタル、C0G など) と薄膜抵抗を使用すると、ひずみを減らすのに役立ちます。
3. この回路をバッテリーで駆動すると、スイッチング電源により発生するひずみを除去できます。
4. 低ノイズ設計の場合、値の小さい抵抗と、低ノイズのオペアンプを使用します。
5. 同相電圧は、抵抗分圧器で設定した DC バイアス電圧と、マイクロフォンの出力電圧により発生する偏差の和に等しくなります。相補ペア入力段を持つオペアンプの場合、クロスオーバーひずみの可能性を排除するため、同相電圧をクロスオーバー領域から離すことを推奨します。
6. 抵抗 R<sub>1</sub> を使ってマイクロフォンの内蔵 JFET トランジスタをバイアスし、マイクロフォンで指定されたバイアス電流を達成します。
7. 等価入力抵抗は R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>、R<sub>3</sub> で決まります。R<sub>2</sub> と R<sub>3</sub> に値の大きな抵抗を使用すると、入力抵抗が増大します。
8. マイクロフォンをバイアスするため R<sub>1</sub> に印加する電圧は、オペアンプの電源電圧と等しい必要はありません。マイクロフォンのバイアスに高い電源電圧を使用すると、バイアス抵抗の値を減らすことができます。

## 設計手順

この設計手順では、次の表に示す仕様のマイクロフォンを使用します。

マイクロフォンのパラメータ	値
94dB SPL (1Pa) での感度	-35 + 4dBV
消費電流 (最大値)	0.5mA
インピーダンス	2.2kΩ
動作電圧 (標準値)	2Vdc

1. 感度をボルト / パスカルに変換します。

$$10^{\frac{-35\text{dB}}{20}} = 17.78 \frac{\text{mV}}{\text{Pa}}$$

2. ボルト / パスカルを電流 / パスカルに変換します。

$$\frac{17.78 \frac{\text{mV}}{\text{Pa}}}{2.2\text{k}\Omega} = 8.083 \frac{\mu\text{A}}{\text{Pa}}$$

3. 最大出力電流は、最大音圧レベル 2Pa のとき発生します。

$$I_{\text{Max}} = 2\text{Pa} \times 8.083 \frac{\mu\text{A}}{\text{Pa}} = 16.166\mu\text{A}$$

4. バイアス抵抗を計算します。次の式で、V<sub>mic</sub> はマイクロフォンの動作電圧 (標準値) です。

$$R_1 = \frac{V_{\text{CC}} - V_{\text{mic}}}{I_s} = \frac{5\text{V} - 2\text{V}}{0.5\text{mA}} = 6\text{k}\Omega \approx 5.9\text{k}\Omega \text{ (Standard Value)}$$

5. アンプの入力同相電圧を、電源電圧の 1/2 に設定します。R<sub>2</sub> と R<sub>3</sub> の並列等価抵抗は R<sub>1</sub> の 10 倍にして、マイクロフォンの電流のほとんどが R<sub>1</sub> を流れるようにします。

$$R_{\text{eq}} = R_2 || R_3 > 10 \times R_1 = 100\text{k}\Omega$$

Choose R<sub>2</sub> = R<sub>3</sub> = 200kΩ

6. 最大入力電圧を計算します。

$$R_{\text{in}} = R_1 || R_{\text{eq}} = 5.9\text{k}\Omega || 100\text{k}\Omega = 5.571\text{k}\Omega$$

$$V_{\text{in}} = I_{\text{max}} \times R_{\text{in}} = 16.166\mu\text{A} \times 5.571\text{k}\Omega = 90.067\text{mV}$$

7. 最大出力電圧スイングを生成するのに必要なゲインを計算します。

$$\text{Gain} = \frac{V_{\text{outmax}}}{V_{\text{in}}} = \frac{1.228\text{V}}{90.067\text{mV}} = 13.634 \frac{\text{V}}{\text{V}}$$

8. 7 で計算したゲインを設定するため、R<sub>4</sub> の値を計算します。帰還抵抗 R<sub>5</sub> には 10kΩ を選択します。

$$R_4 = \frac{R_5}{\text{Gain} - 1} = \frac{10\text{k}\Omega}{13.634 - 1} = 791\Omega \approx 787\Omega \text{ (Standard Values)}$$

The final gain of this circuit is:

$$\text{Gain} = 20\log\left(\frac{V_{\text{out}}}{V_{\text{in}}}\right) = 20\log\left(\frac{16.166\mu\text{A} \times 5.571\text{k}\Omega \times \left(1 + \frac{10\text{k}\Omega}{787\Omega}\right)}{2\text{V}}\right) = -4.191\text{dB}$$

9. 20Hz での許容される偏差に従い、低周波数のコーナー周波数を計算します。次の式で、G<sub>pole1</sub> は周波数「f」で各極が寄与するゲインです。極が 3 つ存在するため、3 で割ることに注意してください。

$$f_c = f \sqrt{\left(\frac{1}{G_{\text{pole1}}}\right)^2 - 1} = 20\text{Hz} \sqrt{\left(\frac{1}{10^{-\frac{0.5}{20}}}\right)^2 - 1} = 3.956\text{Hz}$$

10. 9 で計算したカットオフ周波数に基づき、C<sub>1</sub> を計算します。

$$C_1 = \frac{1}{2\pi \times R_{\text{eq}} \times f_c} = \frac{1}{2\pi \times 100\text{k}\Omega \times 3.956\text{Hz}} = 0.402\mu\text{F} \approx 0.33\mu\text{F} \text{ (Standard Value)}$$

11. 9 で計算したカットオフ周波数に基づき、 $C_2$  を計算します。

$$C_2 = \frac{1}{2\pi \times R_4 \times f_c} = \frac{1}{2\pi \times 787\Omega \times 3.956\text{Hz}} = 51.121\mu\text{F} \approx 47\mu\text{F (Standard Value)}$$

12. 20Hz での許容される偏差に従い、高周波数の極を計算します。次の式で、 $G_{\text{pole2}}$  は周波数「f」で各極が寄与するゲインです。

$$f_p = \frac{f}{\sqrt{\left(\frac{1}{G_{\text{pole2}}}\right)^2 - 1}} = \frac{20\text{kHz}}{\sqrt{\left(\frac{1}{10 \frac{-0.1}{20}}\right)^2 - 1}} = 131.044\text{kHz}$$

13. 12 で計算したカットオフ周波数を設定するため、 $C_3$  を計算します。

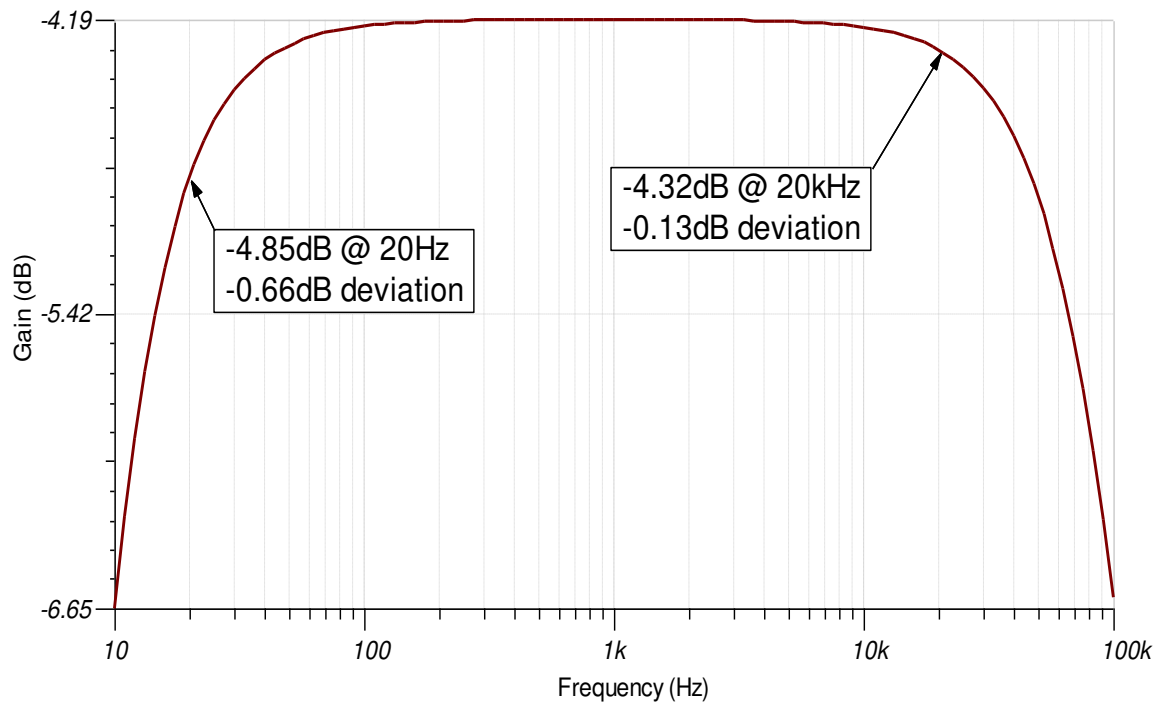
$$C_3 = \frac{1}{2\pi \times R_5 \times f_p} = \frac{1}{2\pi \times 10\text{k}\Omega \times 131.044\text{kHz}} = 121.451\text{pF} \approx 120\text{pF (Standard Value)}$$

14. 9 で計算したカットオフ周波数に基づき、出力コンデンサ  $C_4$  を計算します。出力負荷  $R_6$  は  $10\text{k}\Omega$  と仮定します。

$$C_4 = \frac{1}{2\pi \times R_6 \times f_c} = \frac{1}{2\pi \times 10\text{k}\Omega \times 3.956\text{Hz}} = 4.023\mu\text{F} \approx 3.3\mu\text{F (Standard Value)}$$

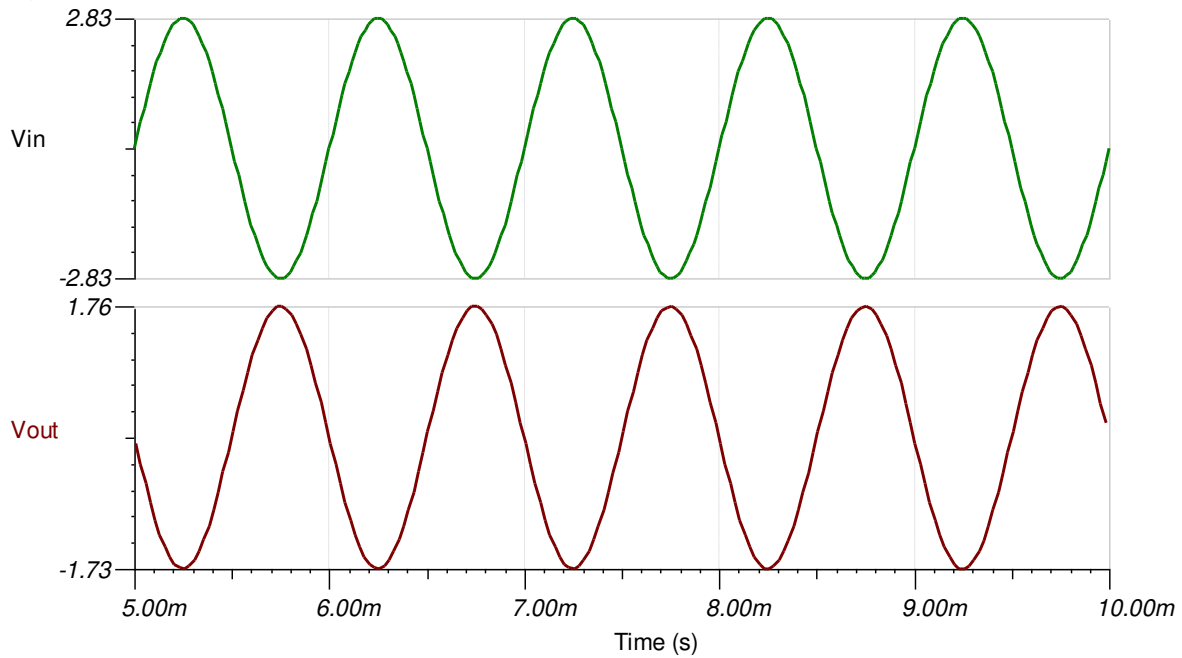
## 設計シミュレーション

### AC シミュレーション結果



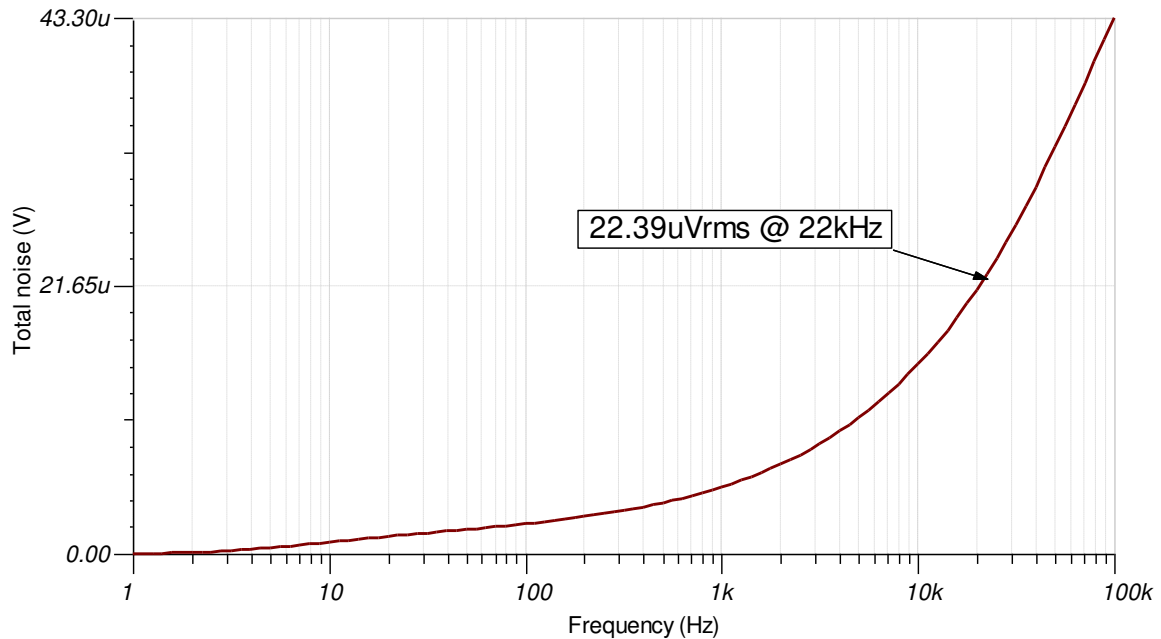
### 過渡シミュレーション結果

入力電圧は、マイクロフォンへの入力信号の SPL を表します。1V<sub>rms</sub> の入力信号は、1 パスカルを表します。



### ノイズのシミュレーション結果

次のシミュレーション結果では、22kHz で 22.39 $\mu$ Vrms のノイズが現れています。帯域幅を 22kHz に設定したオーディオアナライザで測定したノイズを表すため、22kHz の帯域幅でノイズを測定します。



### 参考文献:

テキサス・インスツルメンツ、『[非反転型マイクロフォン アンプ回路のシミュレーション](#)』、SBOC525 SPICE シミュレーションファイル

TI Precision Designs『[単一電源エレクトレット マイク用プリアンプ](#)』、TIPD181 リファレンス デザイン

### 設計に使用されているオペアンプ

TLV6741	
$V_{SS}$	1.8V~5.5V
$V_{inCM}$	(Vee)~(Vcc -1.2V)
$V_{out}$	レール ツー レール
$V_{os}$	150 $\mu$ V
$I_q$	890 $\mu$ A/Ch
$I_b$	10pA
UGBW	10 MHz
SR	4.75V/ $\mu$ s
チャンネル数	1
TLV6741	

### 設計の代替オペアンプ

OPA320	
$V_{SS}$	1.8V~5.5V
$V_{inCM}$	レール ツー レール
$V_{out}$	レール ツー レール
$V_{os}$	40 $\mu$ V
$I_q$	1.5mA/Ch
$I_b$	0.2pA
UGBW	20 MHz
SR	10V/ $\mu$ s
チャンネル数	1, 2
OPA320	

### 商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツはその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。テキサス・インスツルメンツや第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツの保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated

## 重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ(データシートを含みます)、設計リソース(リファレンス・デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとしします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、または [ti.com](#) やかかる TI 製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所 : Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated